东海浮标综合观测网络支撑海洋环境保护和防灾减灾预报

刘长华　王 旭　贾思洋　王春晓

中国科学院海洋研究所 东海海洋观测研究站 青岛 266071

摘要　中国科学院东海海洋观测研究站（以下简称“东海站”）围绕我国东海海域重要流系和复杂海洋现象研究、台风预警预报、海洋权益维护及保障等需求，组建了科学合理的东海浮标观测网络。东海站的主要成果体现在：积累了10余年的连续实时观测数据，有效揭示了区域海洋环境长期演化过程；建立了台风实时观测数据库，有效改善了台风路径预报的准确性；验证了国际风速模式和流场模式在我国近海区域的适用性；阐释了东海海洋环境季节变化特点，提高了灾害性事件对我国海洋环境危害的预报能力；研发了我国首套超大型三锚式浮标综合观测平台，开拓了智能观测在海洋剖面观测领域的应用示范。东海站始终坚持综合性海洋科学基础研究和技术研发并举，立足我国近海环境演变与生物资源可持续利用的理论创新与关键技术的综合交叉与系统集成的前期基础，面向我国近海海洋生态文明建设、透明海洋计划等国家重大需求及物理海洋学、海洋生态学、海洋化学、海洋生物学等学科前沿问题，东海站开展了系统的长序列定点连续实时观测、试验研究和科普示范，取得了一系列重要成果，为我国近海海洋环境保护和防灾减灾预报提供了重要的数据和技术支撑。

关键词　东海站，浮标观测，观测网络

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.2019.10.021

我国东海总面积 77×10^4 km^2，平均水深 370 m，东海大陆架是世界上最广阔的大陆架之一，面积占东海总面积的 2/3[1]；东海是我国海洋灾害种类最多的海区之一，也是我国主要海洋灾害频发的海区之一[2]。东海海域海洋过程复杂、海洋现象众多，一直以来都是海洋科学研究的热点海域。在这样的背景下，中国科学院在“知识创新工程”三期期间，大胆实践，勇于突破，在 2008 年开始着手建设以浮标观测手段为主、海岛自动气象站为辅的中国科学院东海海洋观测研究站（以下简称“东海站”），并于 2009 年 8 月14日在东海海礁附近成功布放第一套 10 m 综合观测研究浮标，拉开了东海站建设的大幕。迄今为止，东海站的

修改稿收到日期：2019 年 10月4日

观测系统主要包括海洋浮标观测系统、垂直剖面观测系统、综合观测潜标系统和自动气象站系统等，形成了完整的海上实时监测网络体系，致力于东海水文、海洋气象和环境要素的长期、连续、同步、实时监测，提供满足东海大生态系对气候变异响应研究需求的实测水文数据，在精细时间尺度上记录极端天气过程和主要洋流对东海典型生境的作用。东海站通过环境指数的建立和数据产品的开发，成为东海资源和环境科学研究的基础数据平台，陆架开阔的边缘海、复杂流系特征长期变化研究的开放平台；通过海洋观测技术的跟踪和研发，不断探索研究适用于我国近海水体环境特点的观测技术手段，成为连续观测设备集成应用和剖面观测手段拓展创新的示范平台，同时也是海洋科学人才的培养基地和面向大众的科普基地。

1 建设了长期综合观测研究的东海浮标观测网络

东海站针对东海水域范围广阔、海洋现象复杂、科学研究热点众多等问题组建了中国科学院东海浮标观测网络，构建了以舟山花鸟岛为中心，西北至长江口，南至舟山外海，东至124°E的一个近三角形的广阔观测研究海域（图1），总观测面积约2 000 km^2。在这个广阔的研究海域，主要的研究对象包括东海沿岸流、台湾暖流、黑潮入侵分支等主要流系[3]和长江口羽状锋、长江口外与浙江沿岸上升流、长江口外溶氧低值区和春季水华等主要海洋现象[2]，以及包括浅滩、岛礁、港湾和河口等多种栖息生境形成的许多复杂的生态结构类型[4]等众多科学热点问题，东海浮标观测研究网络可进行长期、连续、定点、联网、实时地观测研究。

浮标观测是东海站的主要观测研究方式，具有全天候、长期连续、实时定点等其他海洋观测手段无法替代的优势，被海洋学家誉为“海洋上的地球同步卫星”。东海站配置的观测浮标系统有1套直径15 m三锚式浮标综合观测平台、4套直径10 m的大型综合观测浮标、1套直径3 m的综合观测浮标、3套船型观测浮标、3套潮位浮标、4套波浪浮标。此外，还建设有10套岛基和陆基自动气象站等其他类型观测系统以辅助浮标观测网络进行海洋气象、水文物理、水质参数的长期、定点连续观测，形成了一套成熟的集观测、汇总、整合、开放与共享为一体的信息平台，可以从海洋科学研究、生态环境保护、生物资源持续利用、防灾减灾、国防和地方经济发展等不同角度为科学研究和国家需求等提供基础资料服务。

东海站浮标观测网络持续稳定运行10余年，始终保持有效的高质量数据产出，为海洋科学研究和地方经济发展提供了强有力的数据支撑。截至2018年底，浮标数据大约有4 029.7万条，数据量大小为109.7 GB，累计连续观测时间达到113个月。目前，该站获取的数据量和时长已经成为以科研应用为目标的中国东海长时间序列系统中各站点观测之最。东海站观测参数主要包括气象参数、水文参数和水质参数。其中，气象参数主要包括平均风向、平均风速、最大风速、最大风速的风向、测得最大风速的时间、瞬时风速、瞬时风向、10分钟内每分钟的风速风向、气温、气压、相对湿度、雨量、能见度等；水文参数主要包括波浪的有效波高、有效波周期、最大波高、最大波周期、平均波高及周期、1/10波高及周期、波向、剖面流速和流向；水质参数包括水温、电导率、叶绿素、浊度、溶解氧等[5-8]（图2）。

2 构建了台风实时观测数据库

每年夏季，我国东南沿海都会频繁遭受台风灾害的侵扰。准确预报这种具有很强破坏力的海上热带气旋对于海岸防灾减灾有着十分重要的作用，而台风的精确预报更是离不开实测台风数据的获取[9-11]。东海站的浮标观测系统在获取台风实时数据方面优势明显，自2009年成功布放首套海洋综合观测浮标至2018年

底，东海站共有 8 套浮标先后获取到了 28 个台风经过时的实时观测数据，其中有 4 对双台风（2012 年的第 14 号和 15 号、2013 年的第 23 号和 24 号、2016 年的第 14 号和 16 号、2018 年的第 18 号和 19 号）被东海站浮标系统连续观测到完整的数据；观测到台风数量最多的年份是 2012 年——共有 6 个台风被浮标系统获取到实时观测数据；观测台风实时数据次数最多的浮标系统为东海站的 06 号浮标，其自布放以来共获取了 27 个台风经过时的实时观测数据。这些宝贵的实测数据和中国科学院黄海海洋观测研究站（以下简称“黄海站”）获取的台风数据一同构建了经过我国境内台风的实测数据库，为深入研究台风形成和发展机理、校准完善台风模式、提高台风预报预警能力提供了弥足珍贵的科学依据。

2019 年东海站的 8 套浮标再次完整记录了超强台风“利奇马”过境期间的实时数据（图 3）。其中，最低气压为 974.3 hPa，由东海站花鸟岛气象站获取；极大风速为 33.3 m/s，由东海站 22 号浮标获取；最大波高为 11.8 m，由东海站 20 号浮标获取（表 1）。

海上观测浮标和海岛自动气象站，是东海站获取台风实时数据的重要且唯一的观测设施：台风来临时，观测船只因人员和船舶的安全必须回港避风，不可能获取到台风期间的实时数据；而雷达、卫星等观

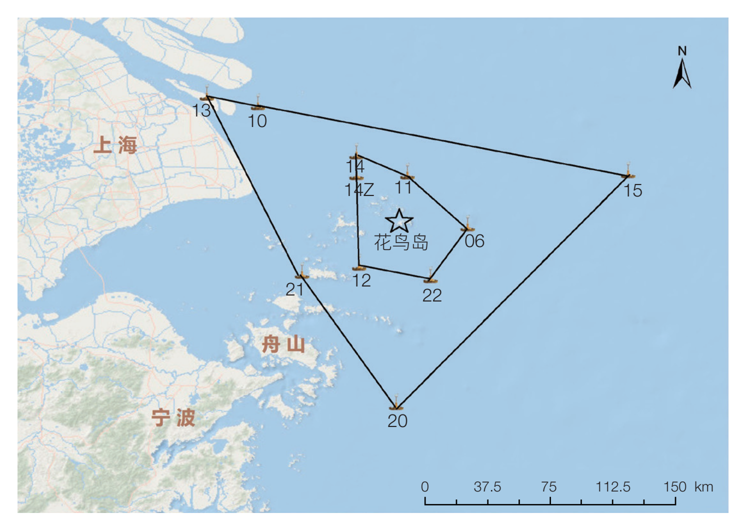


图 1　东海站观测研究站点分布图

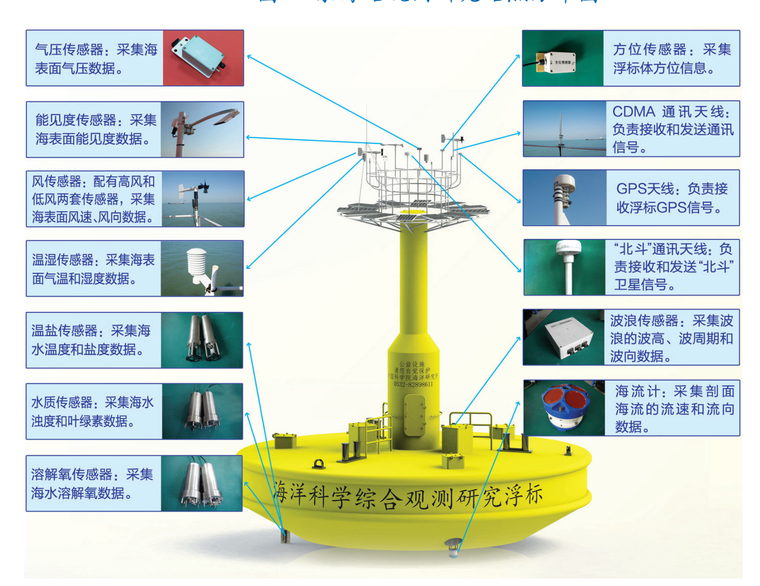


图 2　海洋科学综合观测研究浮标搭载主要设备和观测参数详图

表 1　东海站观测到的“利奇马”台风典型数据列表（按照台风影响先后排序）

浮标号/观测点	极大风速（m/s）	极大风速时间	最低气压（hPa）	最低气压时间	最大波高（m）	最大波浪时间
15	27.9	8月9日17:08	991.4	8月10日14:40	9.8	8月10日06:00
06	26.9	8月9日16:57	989.5	8月10日18:25	9.9	8月10日04:30
20	31.6	8月9日21:37	986.1	8月10日05:09	11.8	8月9日23:30
12	28.8	8月10日02:38	983.1	8月10日14:49	9.3	8月9日16:00
22	33.3	8月10日13:30	984.0	8月10日15:09	/	/
21	31.2	8月10日13:59	984.8	8月10日13:50	/	/
花鸟岛气象站	30.3	8月10日14:00	974.3	8月10日18:00	/	/
13	21.0	8月10日16:07	984.8	8月10日17:55	2.0	8月10日17:50

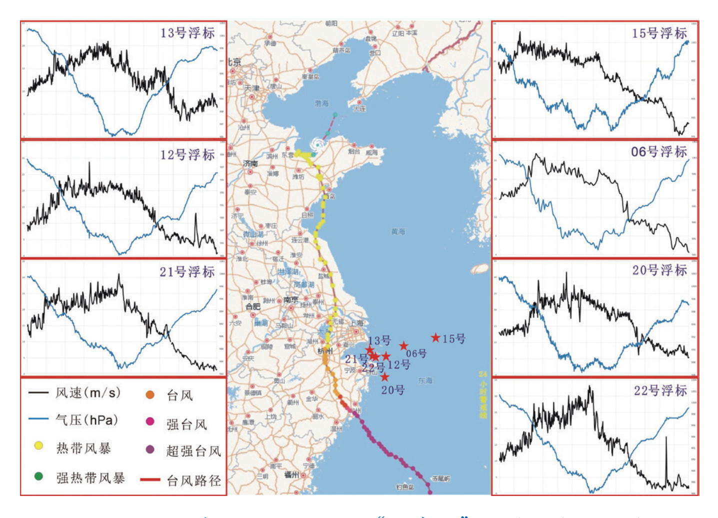


图 3　东海站记录台风“利奇马”的典型数据曲线

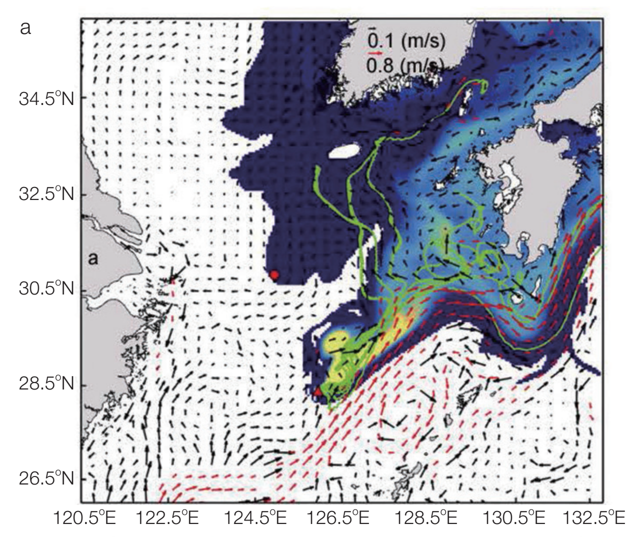
测设施则采用的是遥测方式，更不能得到台风过境时的实时数据；最终仅有无人值守的锚系式浮标 24 小时坚守岗位，全天候不间断获取到宝贵的台风实时数据，这些宝贵的实时观测数据便成了研究台风的唯一实测资料。中国科学院院士穆穆建立的条件非线性最优扰动（CNOP）台风目标观测框架系统，采用东海站观测的台风实时数据，通过比对校验，有效改善了台风路径预报的准确性[13-15]。这些实时观测到的台风数据也为台风路径的预报、预警工作提供了及时的参考资料，为沿海政府部门开展台风预防工作提供了科学依据。

3 验证了欧洲风场数据在中国海区域的适用性

近年来，随着计算机技术的迅猛发展，数值模拟技术逐渐成为研究海洋现象的重要手段。数值模拟结果的准确性很大程度上取决于数值模式驱动场的精确度，而风场数据是海洋数值模拟过程中最为重要的驱动场之一。为了验证欧洲中期天气预报中心（ECMWF）的风场资料在中国海区域，特别是东海、黄海区域的准确性和适用性，东海站联合黄海站利用浮标观测的风速资料与 ECMWF 风速资料在相应格点上的数据进行了对比分析，发现 ECMWF 网格化风场在东海和黄海海域内总体上与实测风速吻合，与 8 个浮标上所测风速的相关系数均在 0.7 以上，但也存在一些相差较大的数据点[16]。进一步的分析表明，误差较大的数据点都是在低风速的情况下（均低于 6 m/s），这些数据在所使用的数据中占有大约 13% 的份额。使用刘志亮等[17]提出的校正方法校正 ECMWF 风场后，取得了更佳的比对结果。通过该部分的研究，使我们对数值模式模拟出的黄海、东海海域的环流结果有了更全面的理解，特别是在分析夏季低风速情况下的数值模拟结果时非常有用。

4 阐释了东海海域环流的变化特征并应对突发性灾害

2018 年，巴拿马籍油船“桑吉”号在我国东海海域发生碰撞失火沉没，研究人员利用风场模拟无法实现预测其泄漏物在未来 3 个月是否会对我国海洋环境产生严重危害[18]。为解决这一问题，东海站与中科院海洋所的杨德周研究员合作，利用长期的水文观测数据，基于 ROMS（Regional Ocean Modeling System）模式，对西北太平洋海域进行了水平分辨率高达 4 km 的水动力环境数值模拟，该分辨率可以很好地分辨我国东海陆架环流以及中尺度涡旋等过程。特别是东海站 06 号浮标距离发生沉船的位置较近，其获取的长期实时观测数据对 ROMS 模式进行了线性修正，模式结果很好地展示了“桑吉”号沉船附近的陆架环流特征。基于模式结果，对“桑吉”号泄漏物质可能的扩散和迁移轨迹进行了数值模拟分析。通过在“桑吉”号沉船位置的表、底 Ekman 层（中性大气边界层在近地面层以上的部分，又称上部摩擦层）内，释放拉格朗日粒子和示踪物来示踪“桑吉”号泄漏物质的可能影响范围（图 4）。并展示出在未来 3 个月“桑吉”号泄漏物质对我国黄海的影响程度为较小，其主要随着对马暖流进入日本海和随着黑潮进入日本九州以南的太平洋海域[19-22]。对“桑吉”号泄漏物漂移路径的模拟预测为海洋环境保护、海洋灾害预报等提供了科学



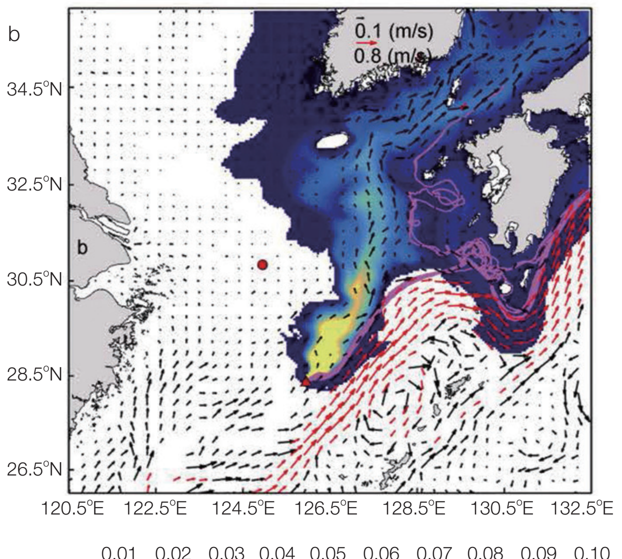


图 4 “桑吉号”沉船事件后，对相关海域表层（a）、底层（b）的流场模拟和观测情况

依据，提高数值模拟和数据同化的效果，有利于完善防灾减灾和应急灾害防护的反应机制，为相关部门决策提供有力的理论保障体系。

5 开展了系列适用于近海海洋观测的新技术研究

5.1 基于 10 m 浮标载体的锚链式自容式剖面观测系统

根据重大科学研究项目对定点海域长期水体观测数据的需求，2014 年 10 月—2015 年 11 月，依托东海站 06 号综合海洋观测研究浮标开展了连续 13 个月的垂直剖面全水层观测系统试验。东海站采用锚链 10 m、20 m 和 30 m 水深处挂载自容式传感器的方式，获取到 8 个周期共 412 天的有效剖面观测数据，剖面观测参数有水温、盐度、深度、浊度、叶绿素和溶解氧[7]。

此次试验成功获取到连续 13 个月、共计 518 万条的垂直剖面观测数据，结合浮标获取的表层水温数据与剖面数据进行对比分析证明了锚链式剖面观测方法的实用性和可推广性。该试验完成的同时也暴露出一定问题。例如：废弃的拖网包裹或拖拽锚链等原因，导致水下传感器安装架和线缆易遭破坏而脱落，也增加了潜水员水下作业的难度和危险性；数据未实现实时传输等。该试验是采用锚链式海洋剖面观测手段进行水体观测的一项有益尝试，为下一步实现对剖面水体环境进行实时观测提供了技术积累，也为中国近海海洋观测研究网络广泛开展垂直剖面观测系统的建设积累了宝贵经验。

5.2 国内首套超大型三锚式浮标综合观测平台的研制和使用

三锚式浮标综合观测平台在观测技术方面是一项创新性的应用工程，主要由浮标主体、锚泊系统和传感器等部分组成；采用三锚固定观测系统方式，克服了单锚浮标系统随潮、流作用，活动范围较大，在进行剖面参数长期观测时锚系易与剖面观测系统发生纠缠等缺点。同时，该平台预留多种观测井、仪器舱，可根据实际应用或科学需求，以及针对突发生态灾害等问题，进行短期的专项观测，是实用、简易的海上试验综合观测平台。在具体观测内容和方式上，具有海气界面观测、通量观测、水面观测、水体观测、海底观测等多项综合观测以及应急生态灾害专项监测诸多功能于一体的特点。

三锚式浮标综合观测平台直径 15 m，是国内首套直径最大、观测参数最全、智能化程度最高的海上综合观测和试验平台（图 5）。该平台的应用解决了我

国近海获取实时、长期和连续的剖面水体数据的观测技术难点，为建立涵盖海洋大气、海洋表层、剖面水体和海底的全尺度观测体系弥补了关键一环，是一种适应目前我国近海海洋观测需求的创新性海洋综合观测平台。该平台极大地提升中国近海海洋观测研究网络的观测能力，为我国海洋科学基础研究、防灾减灾等提供更加丰富、完备的数据支撑。

5.3 国内首创刚性剖面观测技术的研制和应用

该系统充分利用大型海洋综合观测浮标在位生存能力强的优势，能够在无人值守条件下，通过智能判断实时海况信息，实现自主智能控制对水面下一定深度水体的多项环境参数进行长期、连续、定点、实时观测。有效增加和拓展我国近海水体剖面观测的深度和内容，为我国近海海洋科学研究提供更加全面、系统的观测数据支撑。

自由伸缩式智能化剖面观测浮标系统采用智能控制与自由伸缩式刚性结构体技术结合的方式进行海洋剖面观测，可对剖面水体的水温、盐度、深度、浊度、叶绿素、溶解氧、pH值等多参数要素进行长期、定点、连续、实时观测（图6）。该浮标系统的智能控制功能采用了人工智能（AI）技术，根据浮标上配置的各类传感器获取的实时数据对海况进行判断，从而对伸缩装置的运行状态进行自动控制，以达到安全、长期、稳定地获取剖面水体数据。该系统还进行了多项技术创新，包括采用太阳能-波浪能多源组合供电模式、视频实时监控功能、多层通量风的观测功能等。该浮标系统具有安全稳定、推广性强、可利用现有的浮标观测网络构建一个观测范围广阔的水体垂直剖面观测网络系统的优势，为海洋基础和应用等学科研究的深入开展，取得突破性、创新性研究成果起到系统支撑作用。

6 结束语

野外台站是人类认识自然现象、探索自然规律、追求人与自然和谐共处的重要科学观测研究基地。10余年来，东海站作为一个集观测与研究于一体的综合性海洋观测研究体系，组建了涵盖锚泊式浮标综合观测系统和海岛自动气象站等多种观测形式的中国科学院东海海洋观测研究网络，引入智能观测理念并研制了三锚式浮标综合观测平台和自由伸缩式剖面观测系统，满足了国家对近海剖面水体观测要素获取的迫切需求，阐释了观测海域环境长期变化规律，提高了




图5　三锚式浮标综合观测平台实际运行状态

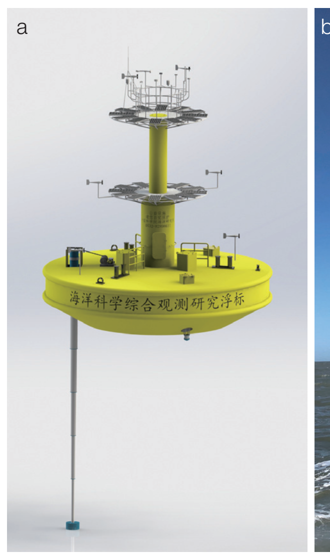




图6　基于大型浮标的自由伸缩式海洋剖面观测系统示意图（a）和实际照片（b）

对海洋灾害性事件的预测和评估能力；同时，通过长期观测研究发现新的海洋现象，揭示和预测在自然与人类活动双重作用下的东海生态环境、动力环境、水体环境的响应和机理，增加对我国近海海洋生态系统和气候变化机制的理解，促进海洋生物资源的可持续利用，改善海洋公共安全和健康，降低海洋自然灾害和环境变化对人类的不良影响，推进我国东海海洋生态文明持续健康发展。同时，东海站肩负社会责任，推进科研资源共享，为海洋区域经济发展提供科学依据，为“美丽中国”“透明海洋”等国家重大项目提供关键技术支撑和平台保障。

未来，东海站将继续完善网络化综合观测体系，加强新型观测技术研发，扩大观测范围，尤其是加强剖面水体观测和海底观测等结构形式，形成东海海域内研究重点突出、观测要素齐全、观测范围广阔、数据实时化程度高、数据价值明显的海洋综合立体观测研究网络；通过长期持续获取我国东海海域生态系统、生物资源和海洋环境的演变参数，东海站成为我国东海海洋多维度、长时序基础数据资料的观测与展示平台，并将为东海海洋环境可持续发展作出更大的贡献。

参考文献

1 冯士筰, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 1999: 435.

2 李鹏, 许啸春, 潘灵芝. 东海海洋环境监测网浮标观测站布设及其科学意义. 上海国土资源, 2014, 35(1): 71-76.

3 孙湘平. 中国近海区域海洋. 北京: 海洋出版社, 2006: 108-124.

4 刘勇, 程家骅. 东海及黄海南部渔业资源水文环境类群划分及其相关特征的初步分析. 中国水产科学, 2019, 26(4): 796-810.

5 刘长华, 贾思洋, 王彦俊. 漂浮的海上观测站. 科学世界, 2014, (10): 86-89.

6 刘长华, 王春晓, 贾思洋, 等. 锚泊式海洋剖面观测浮标系统. 海洋科学, 2014, 38(8): 99-102.

7 刘长华, 王春晓, 贾思洋, 等. 基于10米浮标载体的锚链式剖面观测系统实践之一——自容式采集方式. 海洋科学, 2016, 40(8): 94-99.

8 刘长华, 冯立强, 贾思洋, 等. 信息技术在海洋观测浮标系统安全保障体系的应用. 科研信息化技术与应用, 2014, 5(4): 75-81.

9 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979: 1-2.

10 袁杰颖, 陈永平, 潘毅. 台风路径集合化预报方法的优化. 海洋预报, 2017, 34(2): 37-42.

11 娄小芬, 楼茂园, 罗玲, 等. “菲特”台风路径和强度预报难点分析. 海洋预报, 2015, 32(1): 10-19.

12 穆穆, 王洪利, 周菲凡. 条件非线性最优扰动方法在适应性观测研究中的初步应用. 大气科学, 2007, 31(6): 1102-1112.

13 穆穆, 周菲凡. 基于CNOP方法的台风目标观测研究进展. 气象科技进展, 2015(3): 6-17.

14 穆穆, 段晚锁. 条件非线性最优扰动在可预报性问题研究中的应用. 大气科学, 2013, 37(2): 281-296.

15 孙国栋, 穆穆, 段晚锁, 等. 条件非线性最优扰动（CNOP）: 简介与数值求解. 气象科技进展, 2016, 6(6): 6-14.

16 Song L, Liu Z, Wang F. Comparison of wind data from ERA-Interim and buoys in the Yellow and East China Seas. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, 33(1): 282-288.

17 刘志亮, 宋丽娜, 王凡, 等. 北黄海QuikSCAT卫星风速与浮标风速的对比分析. 海洋科学, 2012, 36(3): 1-7.

18 Kako S, Isobe A, Yoshioka S, et al. Technical issues in modeling surface-drifter behavior on the East China Sea shelf. Journal of Oceanography, 2010, 66(2): 161-174.

19 杨德周, 冯兴如, 刘长华, 等. “桑吉”号泄漏物质扩散与漂移数值模拟预测. 海洋与湖沼, 2018, 49(4): 707-713.

20 Yang D Z, Yin B S, Liu Z L, et al. Numerical study on the

pattern and origins of Kuroshio branches in the bottom water of southern East China Sea in summer. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2012, 117(C2): C02014.

21 Yang D Z, Yin B S, Sun J C, et al. Numerical study on the origins and the forcing mechanism of the phosphate in upwelling areas off the coast of Zhejiang Province, China in summer. Journal of Marine Systems, 2013, 123-124: 1-18.

22 Yang D Z, Yin B S, Chai F, et al. The onshore intrusion of Kuroshio subsurface water from February to July and a mechanism for the intrusion variation. Progress in Oceanography, 2018, 167: 97-115.

Comprehensive Observation Network of Buoys in East China Sea Supporting Marine Environmental Protection, Disaster Prevention, and Mitigation Prediction

LIU Changhua WANG Xu JIA Siyang WANG Chunxiao

(East China Sea Ocean Observation and Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract The East China Sea Ocean Observation and Research Station (hereinafter referred to as the "East China Sea Station") has established a scientific and reasonable observation network of buoys in the East China Sea, in order to meet the needs of investigation of important current systems and complex ocean phenomena, typhoon warning and forecasting, as well as maintenance and protection of marine rights and interests. The main achievements obtained by the East China Sea Station are as the follows: the East China Sea Station has accumulated more than ten years of continuous real-time observation data, and effectively reveals the long-term evolution process of the regional marine environment; the real-time observation database of typhoon is established, which effectively improves the accuracy of typhoon path prediction; the applicability of the international wind speed model and the flow field model in the offshore areas of China is verified; the characteristics of the seasonal variation of the marine environment in the East China Sea are clarified, which improves the forecast ability of the disastrous events to the marine environment in China; the first super-large buoy with three-anchor comprehensive observation platform in China has been developed, which opened up the application and demonstration of intelligent observation in the field of ocean profile observation. The East China Sea Station has always adhered to the collaborative development of basic research technological research. Based on the comprehensive intersection and system integration of theoretical innovation and key technologies of coastal environmental evolution and sustainable utilization of biological resources in China, a series of important achievements have been made in the field of systematic long-term, fixed-point, continuous and real-time observation, experimental research and science popularization demonstration, which meets major needs of China's offshore marine ecological civilization construction and transparent ocean plan, and benefits the frontiers investigation of oceanography, marine ecology, marine chemistry and marine biology, etc. The East China Sea Station has provided important data and technical support for marine environmental protection, disaster prevention and mitigation in China's offshore areas.

Keywords East China Sea Station, buoys observation, observation network



刘长华 中国科学院海洋研究所正高级工程师，中国科学院近海海洋观测研究网络黄海站站长、东海站站长，兼任中国科学院近海海洋观测研究网络科学委员会秘书长、数据中心主任，《中国科学数据》期刊编委。长期从事海洋观测与调查研究，发表海洋观测和信息化方面文章30余篇，申请发明专利10余项。自2007年以来，一直从事中国近海海洋观测研究网络建设和运维管理工作，近几年一直将研究重点聚焦于海洋智能观测和海洋剖面水体观测的设计和应用方面；主导完成的我国第一套三锚式浮标综合观测平台和基于大型浮标的自由伸缩式海洋剖面观测系统，分别已经成功应用于近海海洋的观测与研究。E-mail: lch@qdio.ac.cn

LIU Changhua Professor of engineering at the Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences (CAS). He is the director of the Yellow Sea Station and the East China Sea Station of the Offshore Ocean Observation and Research Network of CAS. He is also the Secretary General of the Scientific Committee of the Offshore Ocean Observation and Research Network of CAS, the director of the Data Center and the editorial board member of the *Journal of Chinese Scientific Data*. He has published more than 30 papers on ocean observation and information technology, and has applied for more than 10 patents for invention. Since 2007, he has been engaged in the construction and operation and maintenance of observation and research network of China's offshore ocean. In recent years, he has focused his research on intelligent ocean observation and design and application of ocean profile water observation. He led the completion of China's first set of three-anchor buoy comprehensive observation platform and free-telescopic ocean section observation system based on large buoys, which have been successfully applied in offshore ocean observation and research. E-mail: lch@qdio.ac.cn

■责任编辑：刘天星

参考文献（双语版）

1 冯士筰. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 1999: 435.
Feng S Z. Introduction to Marine Science. Beijing: Higher Education Press, 1999: 435. (in Chinese)

2 李鹏, 许啸春, 潘灵芝. 东海海洋环境监测网浮标观测站布设及其科学意义. 上海国土资源, 2014, 35(1): 71-76.
Li P, Xu X C, Pan L Z. The distribution and scientific significance of marine environmental-monitoring buoys in the East China Sea. Shanghai Land & Resources, 2014, 35(1): 71-76. (in Chinese)

3 孙湘平. 中国近海区域海洋. 北京: 海洋出版社, 2006: 108-124.
Sun X P. China's Offshore Seas. Beijing: China Ocean Press, 2006: 108-124. (in Chinese)

4 刘勇, 程家骅. 东海及黄海南部渔业资源水文环境类群划分及其相关特征的初步分析. 中国水产科学, 2019, 26(4): 796-810.
Liu Y, Cheng J H. Preliminary analysis on the division of fishery resources based on hydrological environment factors in the East China Sea and south of the Yellow Sea. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(4): 796-810. (in Chinese)

5 刘长华, 贾思洋, 王彦俊. 漂浮的海上观测站. 科学世界, 2014, (10): 86-89.
Liu C H, Jia S Y, Wang Y J. Floating offshore observatories. Science World, 2014, (10): 86-89. (in Chinese)

6 刘长华, 王春晓, 贾思洋, 等. 锚泊式海洋剖面观测浮标系统. 海洋科学, 2014, 38(8): 99-102.
Liu C H, Wang C X, Jia S Y, et al. The system of mooring marine profiling observation buoy. Marine Sciences, 2014, 38(8): 99-102. (in Chinese)

7 刘长华, 王春晓, 贾思洋, 等. 基于10米浮标载体的锚链式剖面观测系统实践之一——自容式采集方式. 海洋科学, 2016, 40(8): 94-99.
Liu C H, Wang C X, Jia S Y, et al. Anchor chain-type profiling observation system based on 10 m buoy—Self contained acquisition mode. Marine Sciences, 2016, 40(8): 94-99. (in Chinese)

8 刘长华, 冯立强, 贾思洋, 等. 信息技术在海洋观测浮标系统安全保障体系的应用. 科研信息化技术与应用, 2014, 5(4): 75-81.
Liu C H, Feng L Q, Jia S Y, et al. The application of information technology to security assurance of ocean observation buoy system. E-Science Technology & Application, 2014, 5(4): 75-81. (in Chinese)

9 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979: 1-2.
Chen L S, Ding Y H. Typhoons in the Western Pacific. Beijing: Science Press, 1979: 1-2. (in Chinese)

10 袁杰颖, 陈永平, 潘毅. 台风路径集合化预报方法的优化. 海洋预报, 2017, 34(2): 37-42.
Yuan J Y, Chen Y P, Pan Y. Improvement of ensemble forecast of typhoon track in the northwestern Pacific. Marine Forecasts, 2017, 34(2): 37-42. (in Chinese)

11 娄小芬, 楼茂园, 罗玲, 等. "菲特"台风路径和强度预报难点分析. 海洋预报, 2015, 32(1): 10-19.
Lou X F, Lou M Y, Luo L, et al. Analysis of the forecast difficulties for moving track and intensity of typhoon "Fitow". Marine Forecasts, 2015, 32(1): 10-19. (in Chinese)

12 穆穆, 王洪利, 周菲凡. 条件非线性最优扰动方法在适应性观测研究中的初步应用. 大气科学, 2007, 31(6): 1102-1112.
Mu M, Wang H L, Zhou F F. A preliminary application of conditional nonlinear optimal perturbation to adaptive observation. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007, 31(6): 1102-1112. (in Chinese)

13 穆穆, 周菲凡. 基于CNOP方法的台风目标观测研究进展. 气象科技进展, 2015, 5(3): 6-17.
Mu M, Zhou F F. The research progress of the typhoon

targeted observations based on CNOP method. Advances in Meteorological Science and Technology, 2015, 5(3): 6-17. (in Chinese)

14 穆穆, 段晚锁. 条件非线性最优扰动在可预报性问题研究中的应用. 大气科学, 2013, 37(2): 281-296.

Mu M, Duan W S. Applications of conditional nonlinear optimal perturbation to the studies of predictability problems. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2013, 37(2): 281-296. (in Chinese)

15 孙国栋，穆穆，段晚锁，等. 条件非线性最优扰动（CNOP）：简介与数值求解. 气象科技进展, 2016, 6(6): 6-14.

Sun G D, Mu M, Duan W S, et al. Conditional nonlinear optimal perturbation: Introduction and numerical computation. Advances in Meteorological Science and Technology, 2016, 6(6): 6-14. (in Chinese)

16 Song L N, Liu Z L, Wang F. Comparison of wind data from ERA-Interim and buoys in the Yellow and East China Seas. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2015, 33(1): 282-288.

17 刘志亮, 宋丽娜, 王凡, 等. 北黄海QuikSCAT卫星风速与浮标风速的对比分析. 海洋科学, 2012, 36(3): 1-7.

Liu Z L, Song L N, Wang F, et al. Comparison between QuikSCAT and buoy wind data in the North Yellow Sea. Marine Sciences, 2012, 36(3): 1-7. (in Chinese)

18 Kako S, Isobe A, Yoshioka S, et al. Technical issues in modeling surface-drifter behavior on the East China Sea shelf. Journal of Oceanography, 2010, 66(2): 161-174.

19 杨德周, 冯兴如, 刘长华, 等. “桑吉”号泄漏物质扩散与漂移数值模拟预测. 海洋与湖沼, 2018, 49(4): 707-713.

Yang D Z, Feng X R, Liu C H, et al. Numerical study on the diffusion and drift of the leaked material from the Sanchi tanker. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2018, 49(4): 707-713. (in Chinese)

20 Yang D Z, Yin B S, Liu Z L, et al. Numerical study on the pattern and origins of Kuroshio branches in the bottom water of southern East China Sea in summer. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2012, 117(C2): C02014.

21 Yang D Z, Yin B S, Sun J C, et al. Numerical study on the origins and the forcing mechanism of the phosphate in upwelling areas off the coast of Zhejiang Province, China in summer. Journal of Marine Systems, 2013, 123-124: 1-18.

22 Yang D Z, Yin B S, Chai F, et al. The onshore intrusion of Kuroshio subsurface water from February to July and a mechanism for the intrusion variation. Progress in Oceanography, 2018, 167: 97-115.